

Analyse temporelle des circuits numériques

Dispositifs et modèles MOS

MASTER ACSI M2

Prof. Habib MEHREZ



Caractérisation électrique

Les différents aspects de la circuiterie

1. Procédé technologique
2. Stade de la modélisation électrique
(statique et dynamique)
3. Modélisation logique



Les différents aspects de la circuiterie

1. Procédé technologique

- Processus de développement de la technologie
- Lois physiques (physique des semi-conducteurs)
- Procédés chimiques

aux \Rightarrow Modèles et Paramètres techno liés

- transistors
- capacités
- résistances



Les différents aspects de la circuiterie

2. Stade de la modélisation électrique

(statique et dynamique)

Définition de modèles de simulation

- Etude de l'influence de la température
- Incidence des paramètres
- Influence des dimensions des transistors
- Etude de pire cas {
 - vitesse
 - puissance
 - complexité

=> caractérisation d'une bibliothèque de cellules



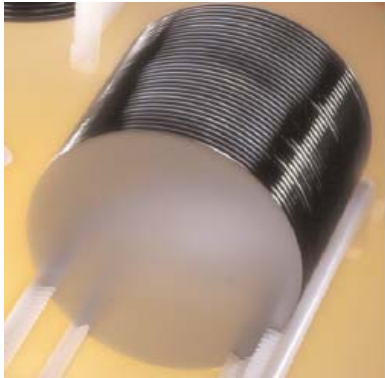
Les différents aspects de la circuiterie

3. Modélisation logique

- Définition de normes (CMOS, TTL, ECL, etc.)
- Sortance , Marges de bruit
- Temps de propagation
- Temps de montée et de descente

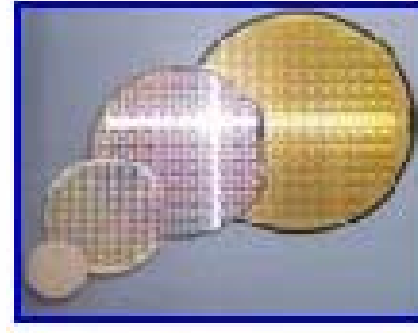


Les différentes étapes de fabrication

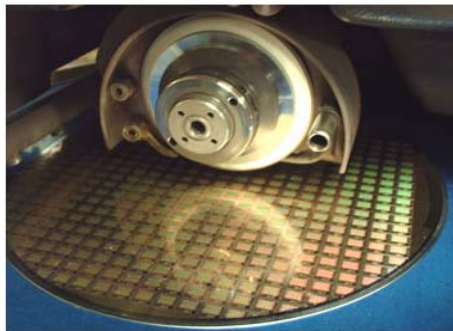


WAFER

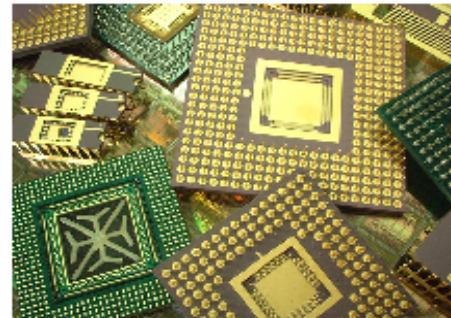
Fabrication
→
Procédés
physiques
et chimiques



Test sous pointes
et Tri
→



Test et
packaging
→

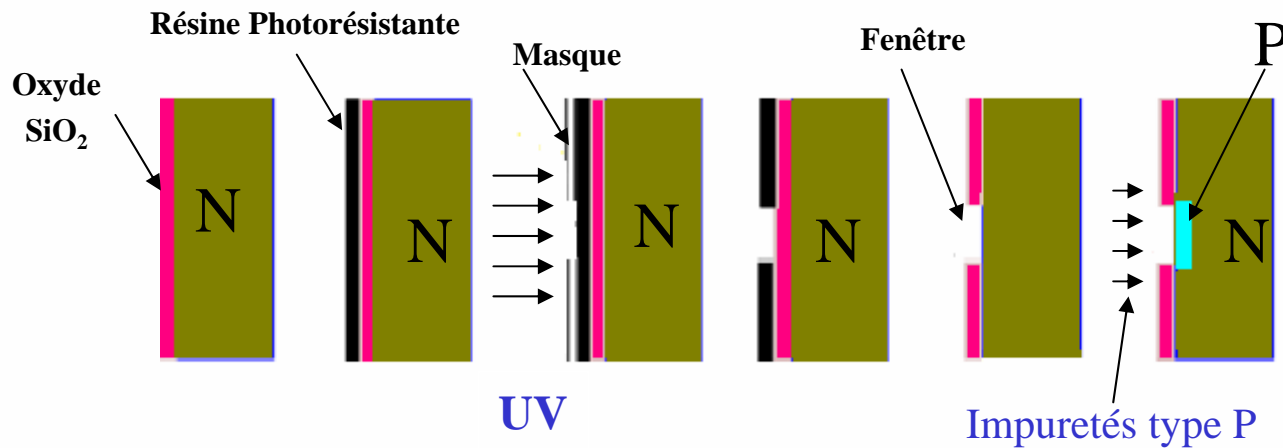


Test
Et fourniture
Utilisateur final
→



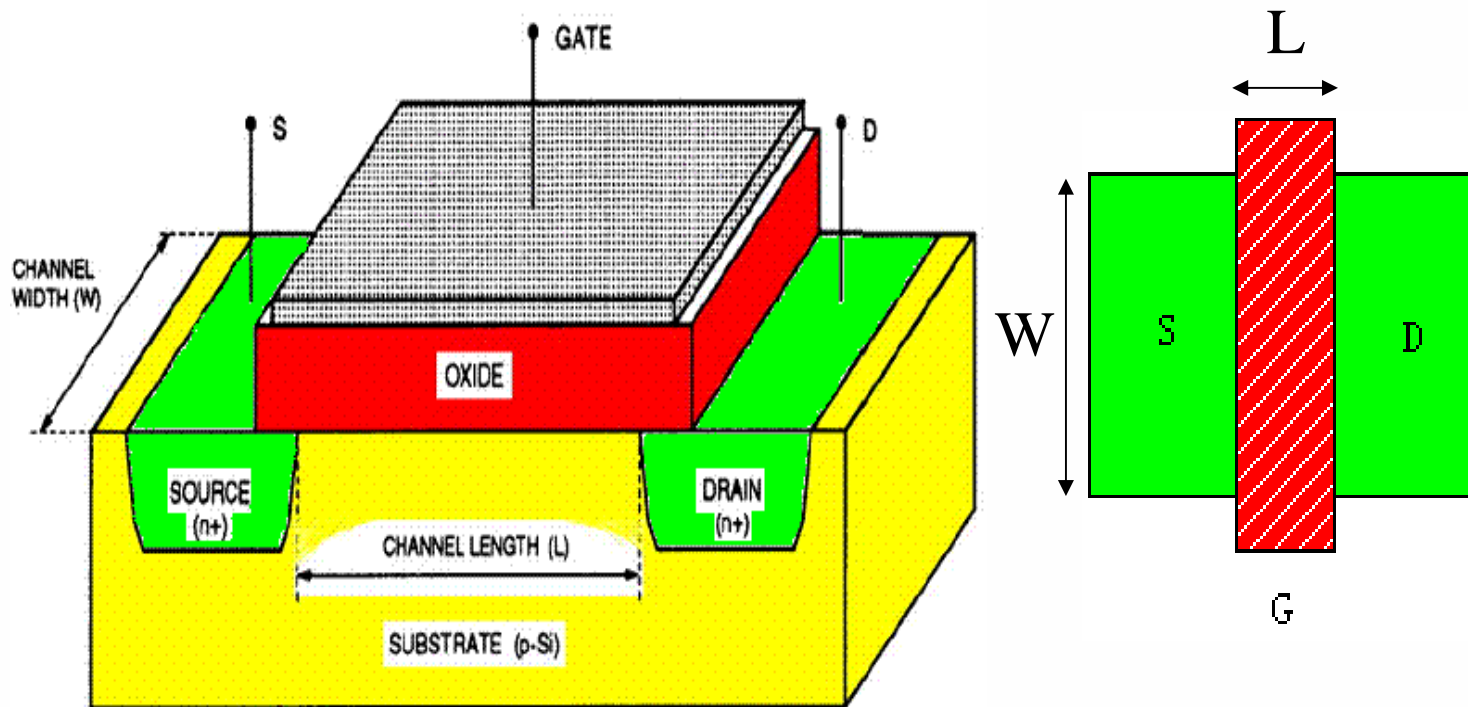
Exemple de photolithographie

Notion de Masque



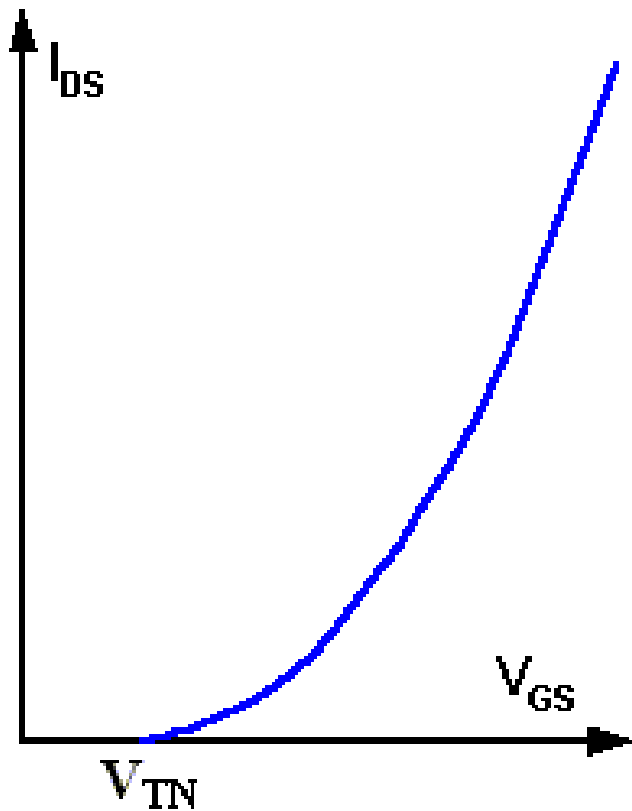
Dispositifs MOS

1. Transistor NMOS à enrichissement

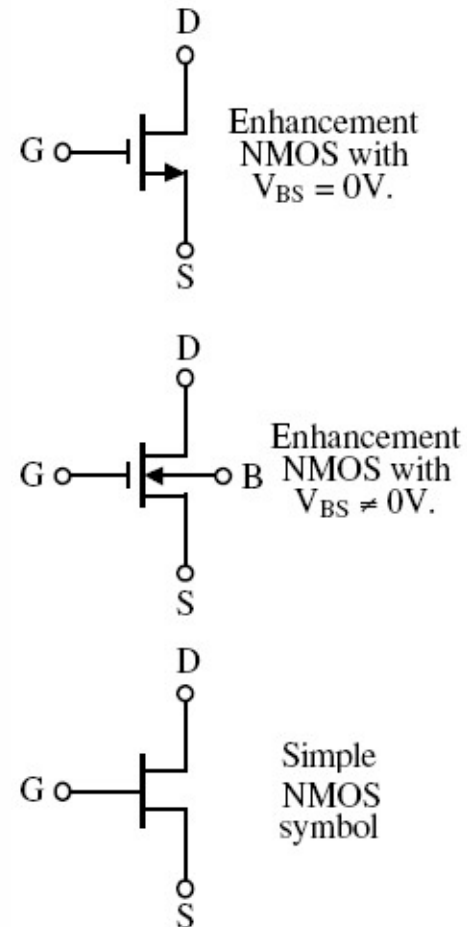


Transistor NMOS à enrichissement

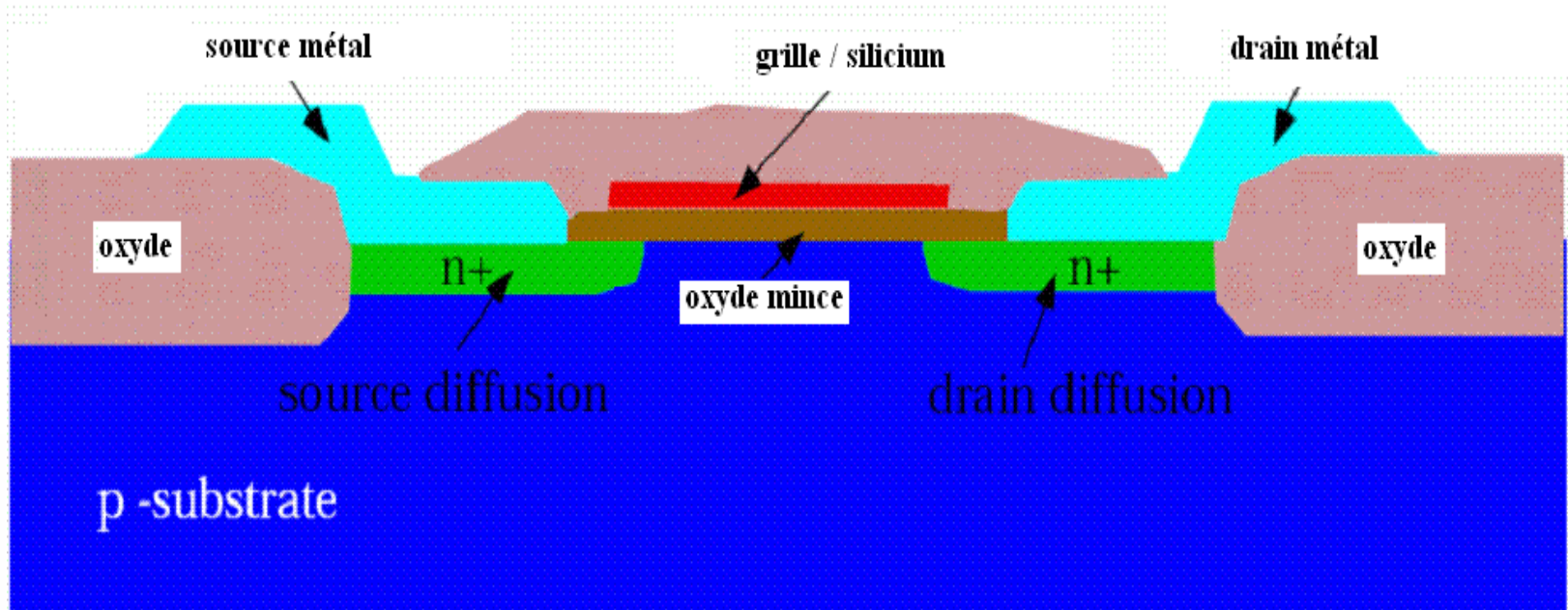
Caractéristique



Symboles

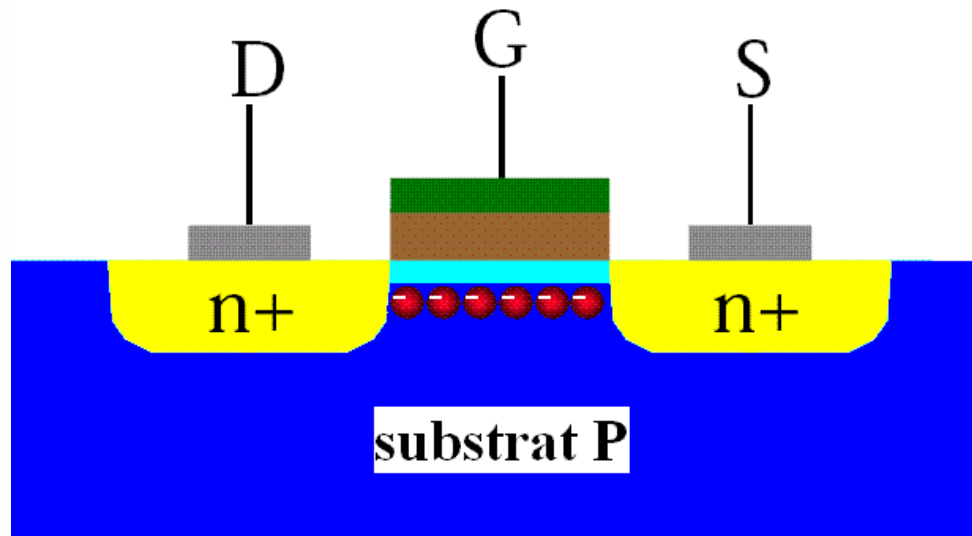


Transistor N-MOS



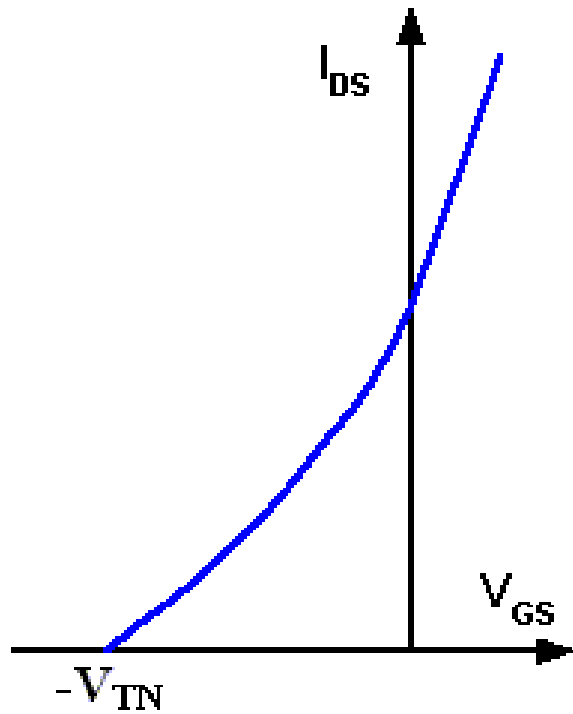
Dispositifs MOS

2. Transistor NMOS à appauvrissement ou dépleté

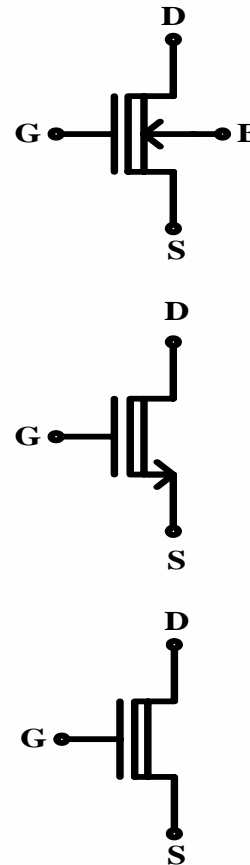


Dispositifs MOS

Caractéristique

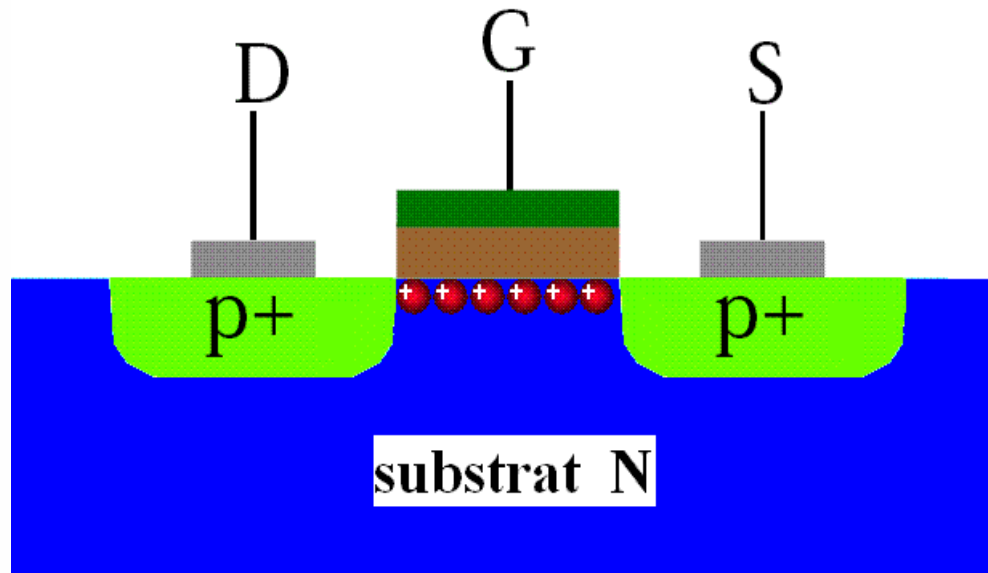


Symboles



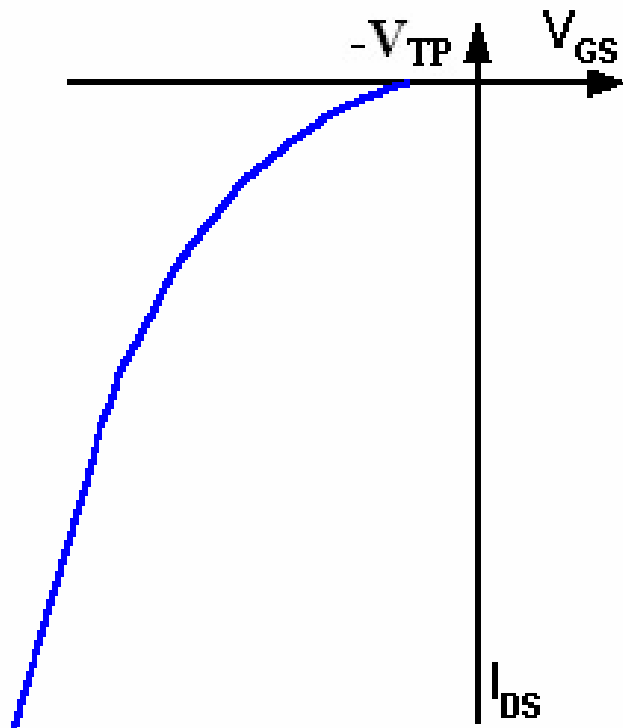
Dispositifs MOS

3. Transistor PMOS à enrichissement

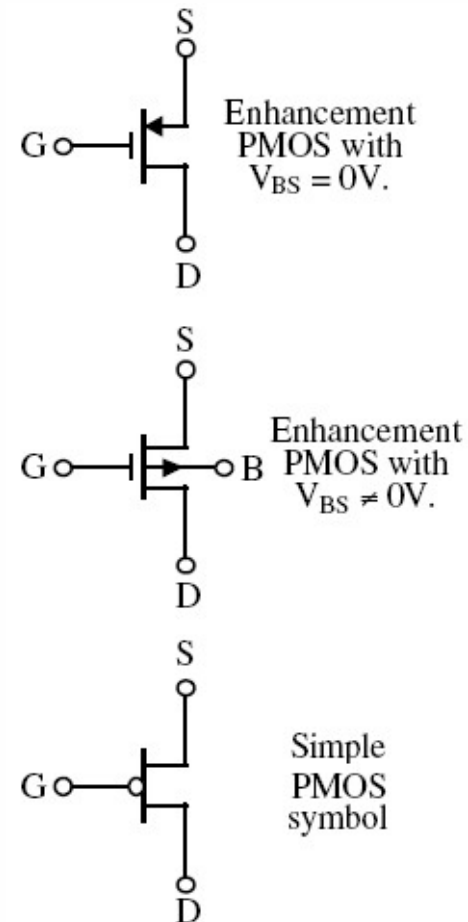


Dispositifs MOS

Caractéristique

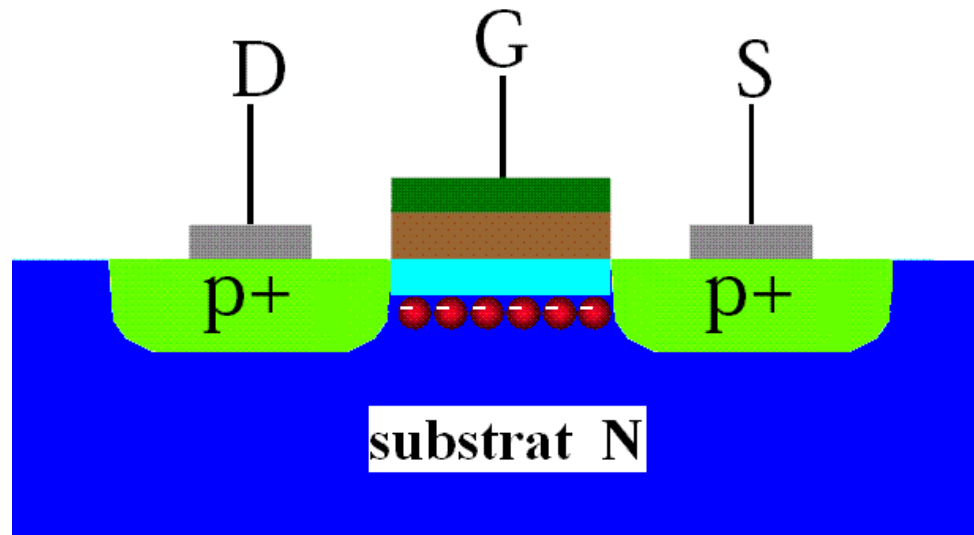


Symboles



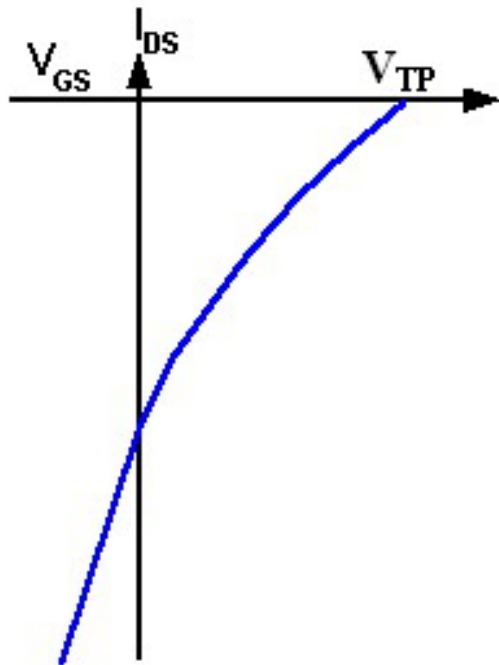
Dispositifs MOS

4. Transistor PMOS à appauvrissement ou dépleté

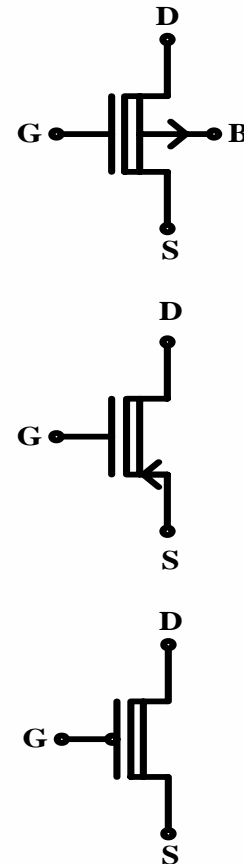


Dispositifs MOS

Caractéristique

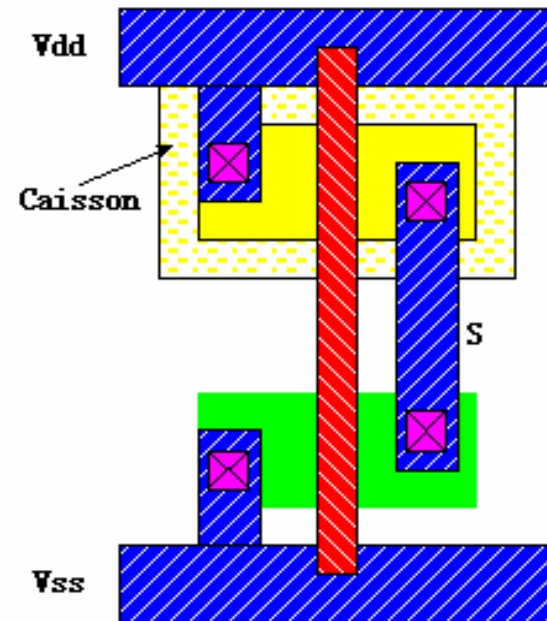
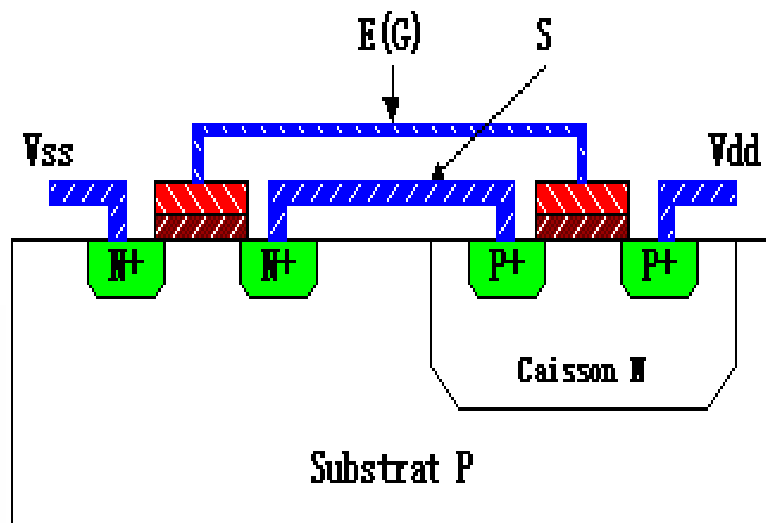


Symboles



Dispositifs MOS

5. Structure CMOS



Modèle statique d'un transistor MOS

Paramètres et définitions

- μ_n : mobilité des électrons
- C_{ox} : capacité d'oxyde mince
- W_n : largeur canal N
- L_n : longueur canal N
- K_n : $\frac{\mu_n}{2} C_{ox} \frac{W_n}{L_n}$
- μ_n : $\mu_{n0} / (1 + \theta(V_{gs} - V_{Tn}))$
- θ : paramètre déterminant l'effet de champ élect dans la canal



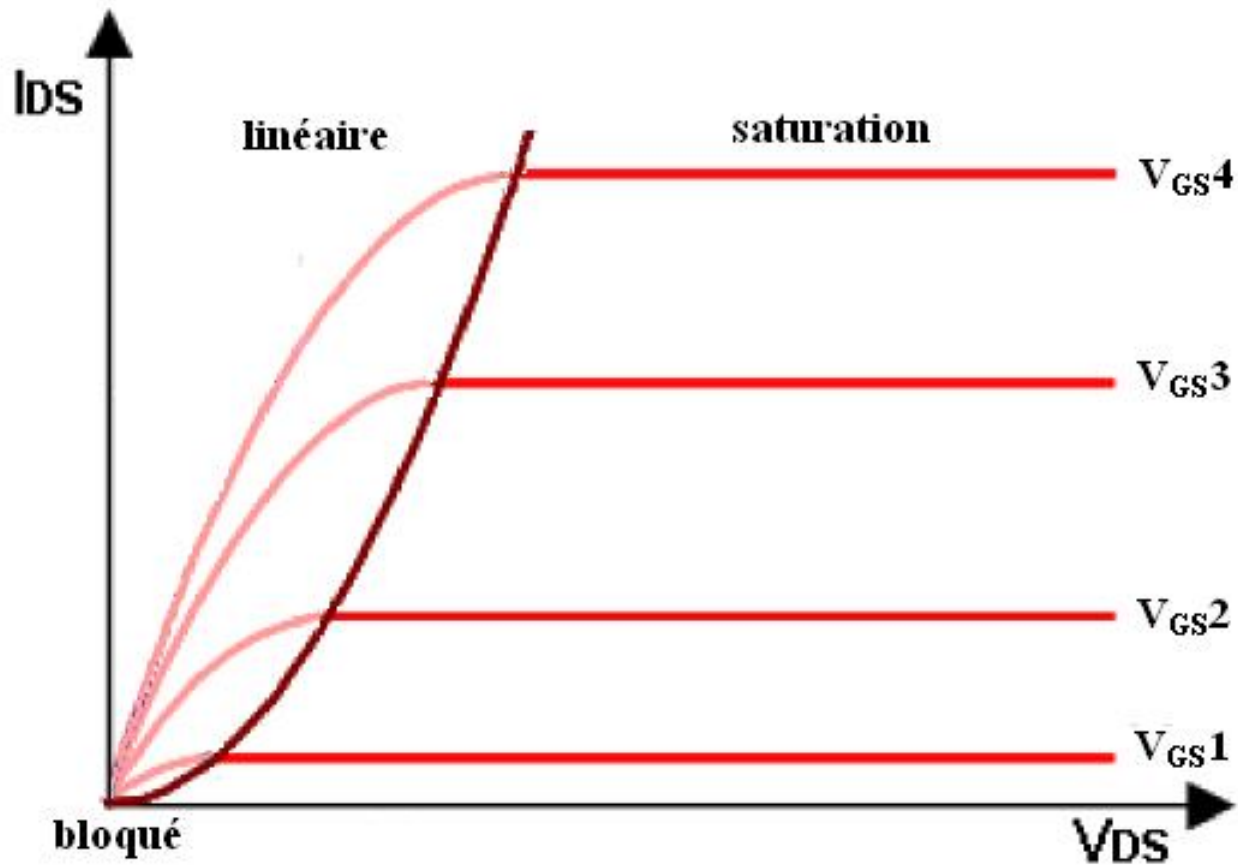
Modèle statique d'un transistor MOS

Paramètre et définitions

- $V_{Tn} : V_{Tn0} + \gamma \left[\sqrt{\phi + V_{SB}} - \sqrt{\phi} \right]$ (Tension de seuil)
- $\gamma : \frac{1}{C_{ox}} \sqrt{2 q \epsilon_{si} DNB}$ (traduit l'effet du champ)
- ϵ_{si} : permittivité diélectrique de silicium
- DNB: concentration des porteurs de charge
- $\Phi : \frac{2 kT}{q} \lg \frac{DNB}{DNI}$ Potentiel d'inversion en surface
- DNI: concentration intrinsèque
- q : charge élémentaire d'un électron
- k : constante de Boltzman
- T : température
- V_{SB} : tension source - Bulk



Régions de fonctionnement



Régions de fonctionnement

- Région de blocage: $V_{GS} < V_{TN} \Rightarrow I_{DS} = 0$

- Région de saturation: $0 < V_{GS} - V_{TN} < V_{DS}$

$$I_{DS} = K_n (V_{GS} - V_{TN})^2 (1 + \lambda V_{DS})$$

$$K_n = \frac{\mu_n}{2} C_{ox} \frac{W_N}{L_N}$$

λ : paramètre de modulation de la longueur du canal

$$0.02 < \lambda < 0.04$$

- Région ohmique ou linéaire: $0 < V_{DS} < V_{GS} - V_{TN}$

$$I_{DS} = K_n V_{DS} [2(V_{GS} - V_{TN}) - V_{DS}] (1 + \lambda V_{DS})$$



Modèle simplifié d'un transistor NMOS

$$\theta = 0$$

$$\lambda = 0$$

$$V_{TN} = V_{TN0}$$

- Région bloqué:

$$V_{GS} < V_{TN} \Rightarrow I_{DS} = 0$$

- Région saturé:

$$0 < V_{GS} - V_{TN} < V_{DS}$$

$$I_{DS} = K_n (V_{GS} - V_{TN})^2$$

- Région ohmique ou linéaire:

$$0 < V_{DS} < V_{GS} - V_{TN}$$

$$I_{DS} = K_n [2(V_{GS} - V_{TN})V_{DS} - V_{DS}^2]$$



Modèle simplifié d'un transistor PMOS

$$V_{TP} < 0$$

- Région bloqué:

$$V_{GS} > V_{TP} \Rightarrow I_{DS} = 0$$

- Région saturé:

$$V_{DS} < V_{GS} - V_{TP} < 0$$

$$I_{DS} = -K_p (V_{GS} - V_{TP})^2$$

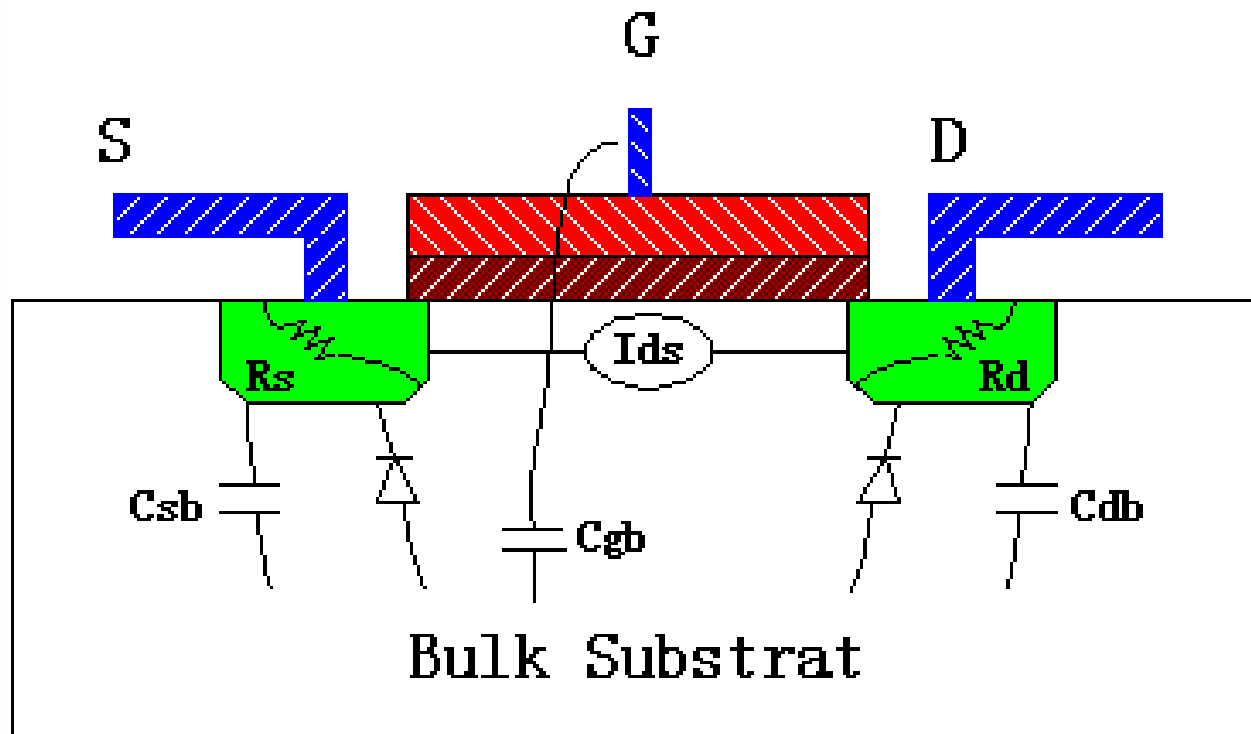
- Région ohmique ou linéaire:

$$V_{GS} - V_{TP} < V_{DS} < 0$$

$$I_{DS} = -K_p [2(V_{GS} - V_{TP})V_{DS} - V_{DS}^2]$$



Modèle dynamique du transistor MOS



Modèle de Schichman - HODGES

